

평판형 전자기 액츄에이터의 초기응답속도 향상을 위한 쇼티드 턴에 관한 연구

황기일 · 김진호*

영남대학교 기계공학부, 경북 경산시 대동 214-1, 712-479

(2009년 9월 23일 받음, 2009년 11월 17일 최종수정본 받음, 2009년 11월 19일 게재확정)

기존의 평판형 전자기 액츄에이터에 쇼티드 턴을 적용한 새로운 형태의 평판형 전자기 액츄에이터를 제안하였다. 기존의 평판형 전자기 액츄에이터에서 발생하는 인덕턴스에 의한 초기응답 지연현상을 줄이기 위해 본 논문에서는 기존의 액츄에이터의 요크와 요크 사이에 중간요크(center yoke)를 추가하고, 쇼티드 턴을 적용한 새로운 형태의 평판형 전자기 액츄에이터를 제안 하고, 상용 자기장 해석 프로그램인 MAXWELL을 이용한 시뮬레이션을 통해 동적 성능 향상을 검증 하였다.

주제어 : 평판코일, 전자기 액츄에이터, 보이시 코일 모터, 쇼티드 턴, 인덕턴스

I. 서 론

현대 사람들은 자신이 사용하는 제품에 대하여 편리한 사용, 다양한 기능 및 소형화를 요구하고 있다. 또한 현대 산업은 고속·고집적화가 가속되면서 데이터 저장장치, 나노 리토그래피(nano lithography) 등과 같은 산업 현장에서 나노급 측정 및 생산공정의 수요가 점차 증가하고 있으며 반도체 및 LCD, PDP의 대형 패널 디스플레이 장비들은 고정밀도·빠른 응답속도를 구현하는 장비를 요구하고 있다. 이러한 추세에 맞추어 생산공정 및 제품의 작동에 핵심이 되는 액츄에이터의 정밀도와 응답속도는 그 무엇보다도 중요하게 되었다.

산업현장에서 사용되는 여러 액츄에이터 중 평판형 전자기 액츄에이터의 경우 코일의 슬립화가 가능하여 초소형, 초경량화가 가능하고 간단한 구동원리를 가지고 있고, 기존 로터리 모터의 회전운동으로부터 직선운동을 구현하는 시스템에서의 단점 역시 없으며, 고정밀도와 빠른 응답속도를 가지므로 최근 많이 이용하는 액츄에이터 중 하나이다. 하지만, 전압콘트롤 방식을 사용할 경우 코일의 인덕턴스로 인해 초기 전류 증가속도가 늦어지고 따라서 응답이 지연되는 단점을 가지고 있다.

J. Arthur 는 하드디스크 드라이버의 구동원인 dual path 액츄에이터에 쇼티드 턴을 적용한 새로운 형태의 액츄에이터를 제안하였다[1]. Fig. 1은 쇼티드 턴을 적용한 보이시 코일 모터의 개략도를 보여주고 있다. 기존의 dual path 액츄에이터는 전자기학적인 특성인 인덕턴스(inductance)에 의해서 초기 응답 지연 현상이 발생하게 되는데, 쇼티드 턴의 작용으로 초기 응답이 향상되는 효과가 생겼다. 쇼티드 턴이란 중앙요크에 구리 또는 알루미늄 박판을 감은 것으로써, dual path 액츄에

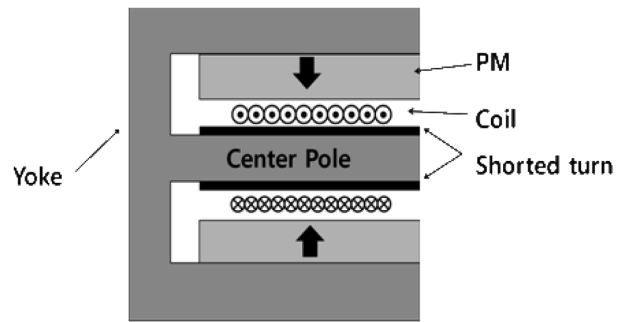


Fig. 1. Schematic diagram of dual path type of VCM with shorted turn.

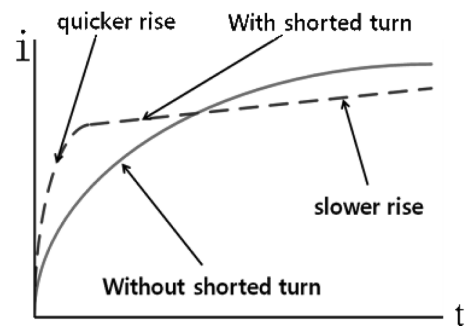


Fig. 2. Effect of shorted turn [2].

이터의 코일에 전압을 인가했을 때 구리박판에 인덕턴스에 의한 큰 역기전력이 발생하게 된다. 따라서 쇼티드 턴을 적용할 경우 이동코일의 초기반응의 유효 인덕턴스는 급격히 감소하게 되고, 따라서 이동코일의 전류는 Fig. 2처럼 급격한 상승 효과를 보이게 되는 것이다[2].

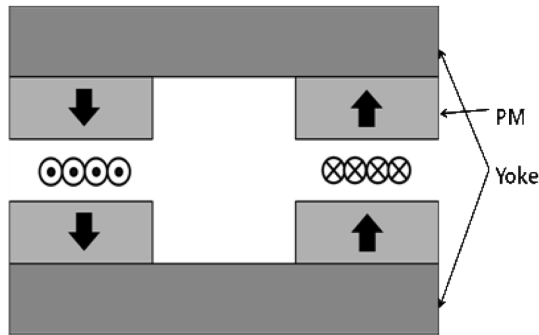
본 연구에서는 쇼티드 턴을 적용한 새로운 1축구조의 평판형 전자기 액츄에이터를 제안하고 전자기 동적 유한요소 시뮬레이션을 통해, 향상된 응답반응 현상을 검증한다.

*Tel: (053) 810-2441, E-mail: jinho@ynu.ac.kr

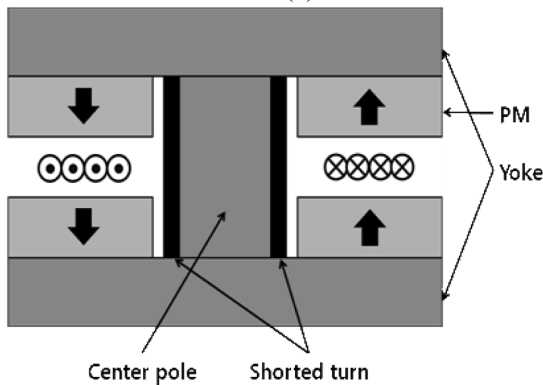
II. 쇼티드 턴을 적용한 신개념 평판형 전자기 액츄에이터

1. 1축 평판형 전자기 액츄에이터의 구조와 구동원리

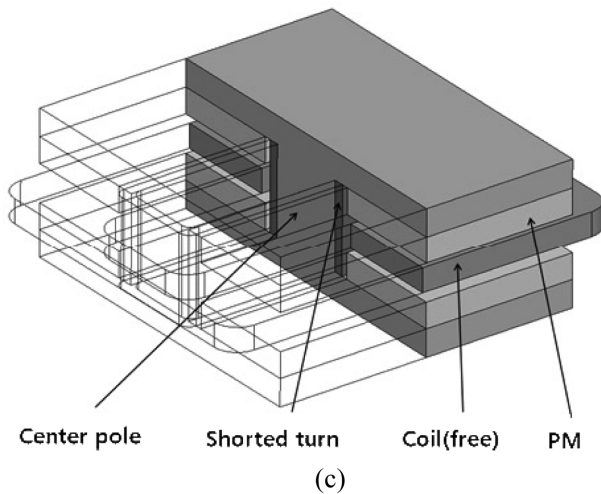
1축 평판형 전자기 액츄에이터의 구조는 Fig. 3(a)와 같다. 평판형 전자기 액츄에이터는 영구자석(permanent magnet)과 자속의 흐름을 원활하게 하는 요크(yoke)의 자기 회로와 자기 회로에 의하여 생성된 일정한 영역의 자속 안에서 전자의



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Schematic diagram of single axis flat electro-magnetic actuator (a) without shorted turn (b) with shorted turn (c) 3-D model with shorted turn.

흐름을 갖는 코일(coil)로 구성되며, 영구 자석에 의해 생성된 자속과 코일에 흐르는 전류 사이의 관계에 의한 로렌츠 힘을 이용해 구동력을 생성하는 구동기이다[3].

구동 방식에는 로렌츠 힘을 이용해서 코일을 움직이는 가동코일 방식과 코일을 고정시키고 자석과 요크부분을 움직이는 가동자석 방식이 있으며 본 논문에서 소개하고 있는 플랫폼 코일형 보이즈 코일 모터는 가동 코일 방식을 이용한다.

플랫폼형 전자기 액츄에이터에 의해서 생성되는 힘(F)은 다음 식 (1)과 같이 표현된다.

$$F = n \cdot B_g \cdot i \cdot l_{eff} \quad (1)$$

n 은 코일의 감긴 수, B_g 는 자속밀도, i 는 코일에 흐르는 전류 그리고 l_{eff} 은 자속 밀도 속에서 반응하는 코일의 길이를 나타낸다.

2. 쇼티드 턴을 적용한 새로운 구조의 1축 플랫폼형 전자기 액츄에이터

본 논문에서 새롭게 제안한 신개념 1축 플랫폼형 전자기 액츄에이터의 구조는 Fig. 3(b), Fig. 3(c)와 같다. 구동원리는 기존의 1축 플랫폼형 전자기 액츄에이터와 동일하다.

다만, 기존의 플랫폼형 전자기 액츄에이터에 쇼티드 턴의 효과를 적용하고자 Fig. 3(b)와 같이 요크와 요크 사이에 새로운 요크(center pole)를 추가하여 dual path 보이즈 코일 모터와 같이 중간 요크에 박판구리를 감싸 주었다. 이 박판 구리가 쇼티드 턴이며, 인덕턴스를 줄여서 빠른 초기응답 속도를 얻을 수 있게 해준다.

다만, 새롭게 추가한 중간 요크와 그 요크를 감싸고 있는 쇼티드 턴에 의해 기존의 플랫폼형 전자기 액츄에이터에 비해 이동 코일의 허용 행정 거리가 짧지만, 쇼티드 턴을 적용한 평판형 전자기 액츄에이터의 코일과 쇼티드 턴 사이의 실제 간격은 3.5 mm로써 나노 미터, 마이크로 미터급의 분해능을 가지는 1축 플랫폼형 전자기 액츄에이터의 행정거리로는 충분하다.

III. 유한요소해석을 이용한 시뮬레이션

쇼티드 턴을 적용한 새로운 형태의 1축 평판형 전자기 액츄에이터의 향상된 동적 성능을 검증하기 위하여 전자기 상용 유한요소해석 소프트웨어인 MAXWELL을 활용하여 시뮬레이션 하였다.

제안된 평판형 전자기 액츄에이터의 유한요소 해석 모델은 기계시스템, 자기시스템, 전기시스템의 세가지 서브시스템으로 구성되어 있다[4].

자기시스템의 지배방정식과 경계조건은 수식 (2)과 같다. 요

Table I. Specification of magnetic subsystem.

Residual induction	1.23 (T)
Coercivity	11184.1 (Oe)
Relative permeability	1.1

Table II. Specification of mechanical subsystem.

Mass	0.33 (kg)
Spring stiffness	4 (MN/m)
Natural Frequency	3.48 (kHz)

크 부분에는 Steel1010이 사용되었고, 영구 자석은 NdFe35가 사용되었으며 그 특성을 Table I에 나타내었다.

$$\nabla \times \left(\frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{A}_z \right) = \vec{J}_{ext} + \frac{1}{\mu} \nabla \times \vec{M} \quad (2)$$

여기서 Boundary condition: $\vec{A}_z = 0$
 \vec{A}_z = magnetic vector potential in z-direction
 \vec{J}_{ext} = external current density

기계시스템의 지배방정식은 수식 (3)와 같다. Table II에는 기계시스템의 질량, 스프링 강성, 고유진동수가 나타나 있다. 또한 제안된 평판형 전자기 액츄에이터의 안내기구로서는 Fig. 4에서와 같이 복합선형 스프링타입의 유연기구 메커니즘을 사용하고 강성은 Table II와 같다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + 2kx = F_{magnetic} \quad (3)$$

여기서 initial condition $x(0) = 0, \dot{x}(0) = 0$
 $F_{magnetic}$: magnetic force

전기 시스템의 지배방정식은 수식 (4)과 같으며, Table III에 입력전압의 초기값, 코일 수, 코일 저항, 쇼티드 턴의 저항

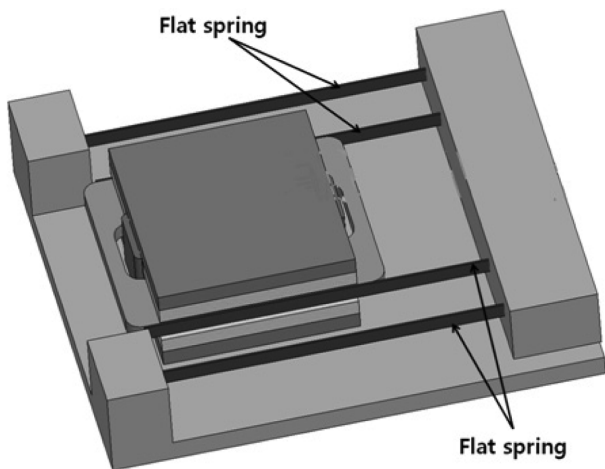


Fig. 4. Schematic diagram of compound linear spring at single axis flat electromagnetic actuator.

Table III. Specification of mechanical subsystem.

Input voltage	4 (V)
Number of turns	520 (turns)
Resistance of coil	2 (Ω)
Resistance of shorted turn	5.0564×1 (Ω)

항이 나타나 있다. 쇼티드 턴의 저항은 수식 (5)를 이용하여 구하였다.

$$\frac{d\lambda(i, x)}{dt} + Ri = 0 \quad (4)$$

여기서 initial condition $i(0) = 0$

$$R = \rho \times \frac{L}{A} \quad (5)$$

여기서
 ρ : 1.7×1 (Ωcm)
 L : Length of shorted turn
 A : Cross section of shorted turn

결합된 세 시스템을 해석하기 위해서 130,000여 개의 삼각

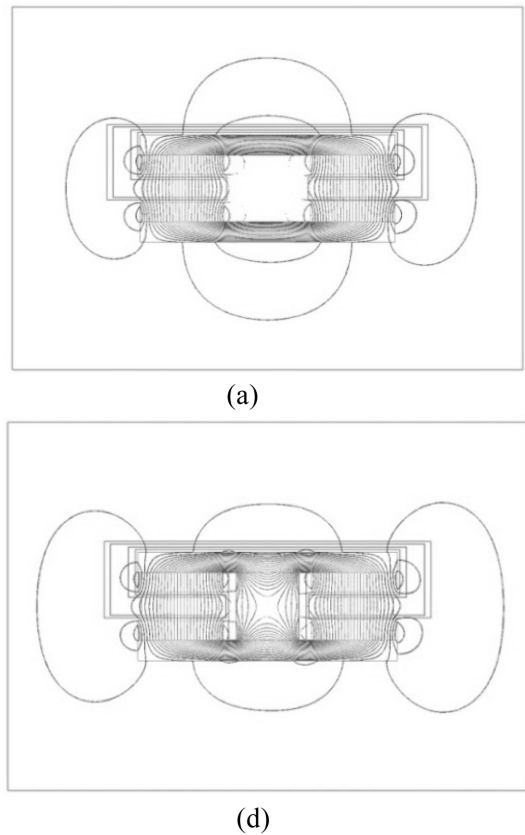


Fig. 5. Flux distribution at initial position (a) without shorted turn (b) with shorted turn.

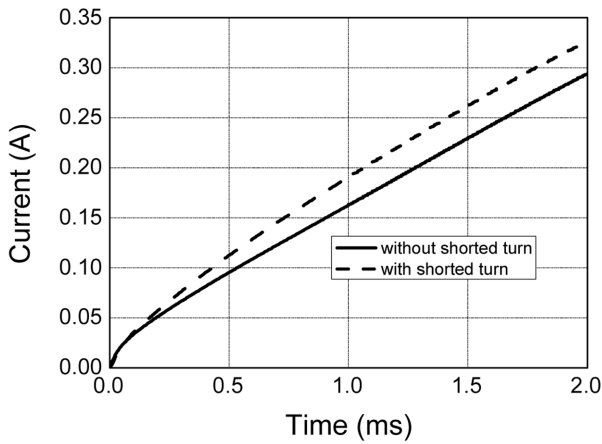


Fig. 6. Comparison between without and with shorted turn model for current versus time.

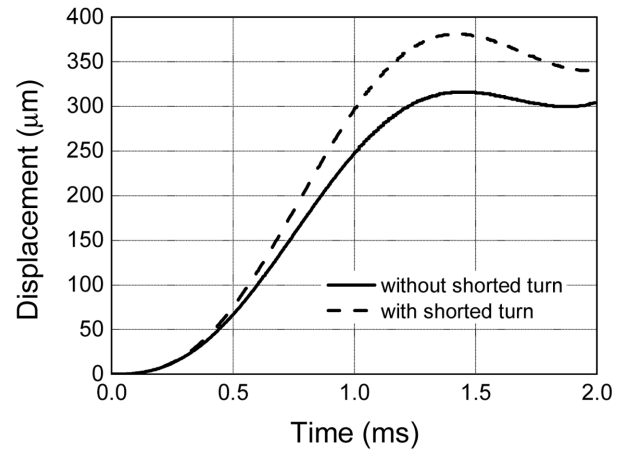


Fig. 8. Comparison between without and with shorted turn model for position versus time.

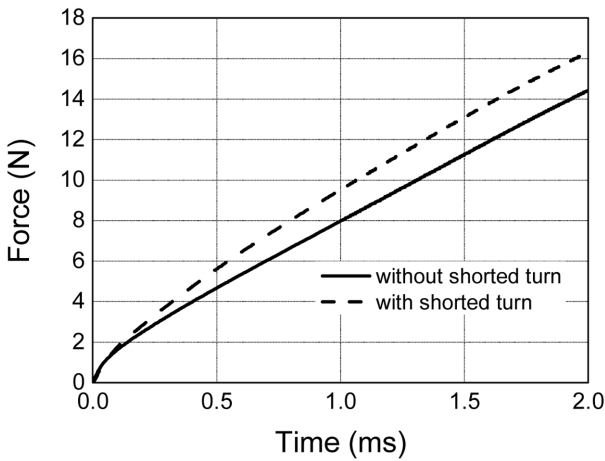


Fig. 7. Comparison between without and with shorted turn model for tangential force versus time.

형 요소로 구성된 동적 2D 유한요소 모델을 만들고 보이스 코일 모터의 이동 코일이 초기상태에서 오른쪽 방향으로 300 m의 지점까지 과도운동을 시뮬레이션 하였다. 해석은 2 ms 동안 4 간격으로 총 500구간을 나누어 수행 하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

Fig. 5(a)와 Fig. 5(b)는 각각 쇼티드 턴이 없는 경우와 쇼티드 턴이 있는 경우의 1축 플랫폼 전자기 액츄에이터의 전

자기 과도 운동 중 초기위치에서의 자기력선의 형태를 보여 준다. Fig. 6, Fig. 7 그리고, Fig. 8은 시간에 따라 쇼티드 턴이 없는 경우와 쇼티드 턴이 있는 경우의 시간에 따른 이 동코일에 미치는 자기력, 힘의 변화, 위치의 변화를 각각 비교해 보여준다. Fig. 6과 Fig. 7 그리고, Fig. 8과 같이 쇼티드 턴을 추가한 새로운 형태의 1축 평판형 전자기 액츄에이터는 2 ms의 같은 시간 동안 각각 전류는 10.92 % 향상되었고, 자기력은 13 % 증가되었으며, 그리고 시간변화에 따른 변위도 11.84 % 증가됨에 따라 기존의 1축 평판형 전자기 액츄에이터 보다 더 빠른 응답 속도가 나옴을 확인 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육과학부가 주관한 나노원천기술개발 사업 (2009008228)을 수행하면서 얻은 연구 결과임.

참고문헌

- [1] J. Arthur Wagner, IEEE Transactions on Magnetics, MAG-18(6), 1770 (1982).
- [2] H.D. Chai, Electromechanical motion devices, Prentice Hall PTR, Upper Saddle River (1998) pp. 201~206.
- [3] K.H. Kim, Ph.D Dissertation of the Korea Advanced Institute of Science and Technology (2005) pp. 52-102.
- [4] J. Kim, J. of Magnetic, 11(4), 151 (2006).

Single-axis Flat Electro-Magnetic Actuator using Shorted Turn for Fast Initial Response

Ki-II Hwang and Jin-Ho Kim*

School of Mechanical Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

(Received 23 September 2009, Received in final form 17 November 2009, Accepted 19 November 2009)

This paper presents the new design of flat electromagnetic actuator. Novel shorted turn and copper center pole are placed into existent design in order to reduce the inductance of coil and accelerate the initial response. Finite element analysis using commercial electromagnetic solver "MAXWELL" is performed to simulate the improvement of dynamic characteristics such as fast initial response and so on.

Keywords : flat electro-magnetic actuator, shorted turn, inductance, finite element analysis